CIEA 2021
II. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE ENGINEERING APPLICATIONS
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
MUŞ, TURKEY
MAY 20-22

Analytical Investigation of the Effects of Punch Form in Flanging of the DP600 Sheet Material

İ. Eryılmaz[1], H.Gürün[2], B.Gökbilen[3]*

[1]Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey
[2]Department of Manufacturing Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey
[3]Birikim Mühendislik, Ankara, Turkey

Abstract

Dual-phase steels have recently been widely used in the automotive industry to reduce vehicle weight and sheet thickness and increase strength. Fuel efficiency increases with reduced weight. The desire to improve safety, which is of great importance in vehicles, also increases the use of high strength materials such as dual-phase steel. Therefore, dual phase steels; with its low yield strength, high tensile strength, hardening with plastic deformation, high elongation properties, continuous flow and easy shape, it has an increasing usage rate especially in the automotive sector. In this study, the effects of punch form and punch diameter on the flange height and wall thickness in the flanging process of DP600 sheet material, which is widely used in the automotive industry, were analyzed analytically. DEFORM 2D software was used in the analyzes. The data obtained from the chemical analysis and tensile test made on the sheet material constituted an input to the analysis software. Three different punch forms were used in the analyzes as spherical, conical and corner curved. Punch diameters were taken as 12, 14 and 16 mm. As a result of the analysis, it was seen that the punch form and punch diameter have important effects on the shaping of the material, and that the maximum thinning and flange height are directly related to the punch form.

Keywords: Dual phase steel, sheet forming, flanging, punch form.

DP600 Sac Malzemenin Flanşlanmasında Zımba Formunun Etkilerinin Analitik Olarak İncelenmesi

Özet

Çift fazlı çelikler özellikle otomotiv sanayinde araç ağırlıklarını azaltmak, sac kalınlığını düşürmek ve dayanımı artırmak için son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Azalan ağırlık ile yakıt verimliliği de artmaktadır. Taşıtlarda büyük öneme sahip olan güvenliğin geliştirilmesi isteği, çelik gibi yüksek mukavemete sahip malzemelerin kullanımını da artırmaktadır. Bu nedenle çift fazlı çelikler; düşük akma mukavemeti, yüksek çekme mukavemeti, plastik deformasyon ile pekleşme göstermesi, yüksek uzama özellikleri, sürekli akma göstermesi ve kolay şekil alabilmeleri ile özellikle otomotiv sektöründe giderek artan kullanım oranına sahiptir. Yapılan bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan DP600 sac malzemenin flanşlanması işleminde zımba formu ve zımba çapının flans yüksekliği ve et kalınlığına etkisi analitik olarak incelenmiştir. Analiz çalışmalarında DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Sac malzeme üzerinde yapılan kimyasal analiz ve çekme testi sonuçlarından elde edilen veriler analiz programına girdi teşkil etmiştir. Analizlerde küresel, konik ve köşe kavisli olmak üzere üç farklı zımba formu kullanılmıştır. Zımba çapları 12, 14 ve 16 mm olarak alınmıştır. Analizler sonucunda malzemenin şekillendirilmesinde zımba formu ve zımba çapının önemli etkiye sahip olduğu, maksimum incelme ve flanş yüksekliğinin zımba formu ile doğrudan alakalı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çift fazlı çelik, sacşekillendirme, flanşlama, zımba formu.

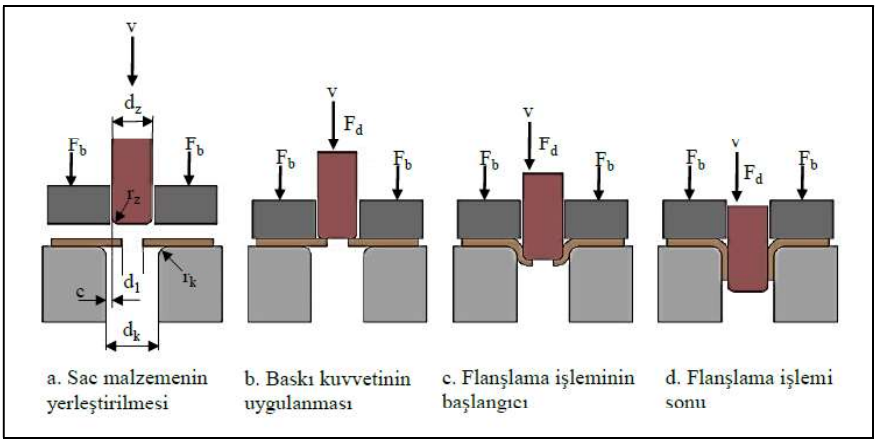
[*] *Corresponding author. Tel.: +90 312-2028615*
E-mail address: hgurun@gazi.edu.tr (H. Gürün).

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu kapsamda, var olan enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı her geçen gün daha fazla önem arz etmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe, güvenlikten ödün vermeden araç ağırlıklarının azaltılması, yakıt ekonomisinin sağlanması ve çevreye daha az zararlı gaz salınımı konuları giderek önem kazanmaktadır. Araç ağırlıklarının azaltılması maksadıyla Alüminyum, magnezyum, titanyum alaşımları ve yüksek mukavemetli çeliklerin, kullanımı her geçen gün artmaktadır.

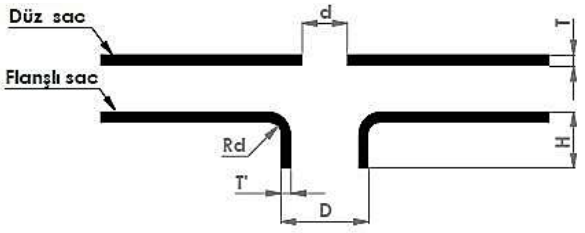
Çift fazlı (DP) çelikler; yüksek çekme mukavemeti, düşük akma mukavemeti, yüksek uzama özellikleri, plastik deformasyon ile pekleşme göstermesi ve kolay şekil alabilmeleri ile özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sektörde en çok tercih edilen çelik grubudur. Sahip oldukları yüksek dayanım ve yüksek form verilebilirlik, iyi kaynak edilebilirlik, piyasadan temin edilme kolaylığı ve maliyet avantajları sayesinde en çok kullanılan geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik (AHSS) sınıfı çeliktir. DP çeliklerin gerek form verilebilirliğinin iyi olması hem de yüksek dayanıma sahip olmasının sebebi mikro yapısından dolayıdır. Çift fazlı çelik, adını mikro yapısında bulunan iki fazdan almaktadır. Bunlar ferrit ve martenzittir. Ferrit,yapı, yapıya süneklik kazandırırken martenzit yapı ise mukavemet sağlamaktadır.

Delik flanşlama yöntemi ön delik açılmış düz levha halindeki sac malzemenin, erkek bir zımba vasıtasıyla dişi kalıp içerisine sıvanarak belirli derinlik ve kalınlık ölçüsüne sahip bir profil haline getirilmesi işlemidir. Delik flanşlama işlemi sac malzemeye uygulanan kuvvetin etkisiyle sac malzemede basma, eğme, bükme gibi farklı biçimlendirme işlemlerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntem sac parçaların birbirine veya başka parçalara herhangi bir yöntemle (perçinleme, kaynak, vidalama) bağlantılarının sağlanması, delik çevresinin mukavemetinin artırılması ve bir yüzeye dayandırılması maksadıyla referans belirlemek için uygulanır (Şekil 1).



Şekil 1. Delik flanşlama süreci

Delik flanşlama işleminde sac malzeme ilk olarak "d" çapında delinir ve bu delik bir form zımbası vasıtasıyla "D" çapına büyültülür. Delik büyültme esnasında malzemede bir takım gerilimler meydana gelir. Bu gerilimlerin değeri "H" yüksekliğinin büyümesi ile artar. Gerilimlerin büyümesi malzemede çatlamalar ve yırtılmalar oluşturur. Oluşan bu gerilimleri en aza indirmek ve daha büyük (flanşlama oranı) HER değerleri sağlamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Delik flanşlama işleminin şematik gösterimi

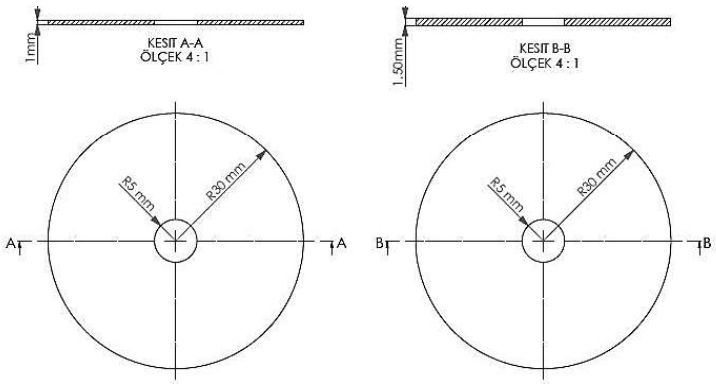
Xu ve diğerleri yaptıkları çalışmada flanşlama öncesi delinen ön delik yüzey kalitesinin HER değerine etkisini incelemişlerdir. Ön delik işlemini, dalma erozyon, zımba ve lazer ile 3 farklı şekilde oluşturarak flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ön delik çapı 12 mm ve sac malzeme kalınlıkları 1-1.4 mm aralığında alınmıştır. Sac malzeme olarak DP980 kullanılmıştır. Çalışma sonucunda flanşlama işleminde delik yüzey kalitesinin flanşlama oranına direkt olarak etki ettiği, EDM ile yapılan çalışmalarda en büyük HER değeri elde edilirken, en düşük HER değeri delme yöntemi ile elde edildiği görülmüştür [1]. You-min Huang ve Kou Hsiung Chien yaptıkları çalışmada zımba formunun ve ön delik çapının delik flanşlama sırasında şekillendirilebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çapı 30mm, köşe kavisi 3.0, 4.0, 8.0, 12.0 ve 30 mm (küresel) olan zımbalarla; kalınlığı 1,18 mm ve ön delik çapı 15mm olan düşük karbonlu (BA-CO_2) çelik numuneye flanşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda zımba formunun flanşlama işlemine önemli derecede etki ettiğini, flanşlama sonrası en büyük geri esnemenin yarıçapı 30 mm olan küresel zımbada olduğu, en düşük geri esnemenin ise yarıçapı 3 mm olan köşe kavisli zımbada olduğunu gözlemlemişlerdir. Flanşlama işleminde duvar kalınlığının zımba köşe radıusu arttıkça azaldığı belirtilmiştir [2]. Ken-ichiro Mori, Yohei Abe ve Yoshio Suzui flanşlama işlemi için zımba ile delinen delikte kalıp boşluğunun flanşlamaya etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı akma gerilmelerine sahip, kalınlıkları 1,40 mm olan; JSC980Y, ultra yüksek mukavemetli çelik sac, JSC780Y ve JSC980Y çift fazlı (DP) çelik sac ve JSC590R çökeltme ile sertleştirilmiş çelik malzemeleri kullanılmışlardır. Numunelere kesme boşluğu (c) %; 4, 8,12,16,20,25 olacak şekilde zımba çapını sabit tutup kalıp çapını değiştirerek 6 farklı şekilde ön delik demişlerdir. Delinen numunelerin yüzeyleri incelenmiş ve yüzeyde oluşan yuvarlanma, yırtılma, parlama ve çapaklanma bölgelerini mikroskop altında incelemişler numunelere konik bir zımba ile flanşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda kesilen ön deliğin kalitesinin flanşlama direkt olarak etki ettiği ve flanş çapında yırtılmalara neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Akma gerilmesi 440 MPA ile 980 MPA arasında olan yüksek mukavemetli çeliklere, flanşlama için zımba ile ön delik delinmesinde en uygun kesme boşluğu (c) değerinin kalınlığın %20 olması gerektiği belirtilmiştir [3]. Toshio kumagi ve diğerleri elektronik ekipman kimyasal aletler, iletişim ve benzeri alanlarda kullanılan iki farklı mekanik özelliğe sahip kaplamalı metal sacların flanşlanmasında ütülemenin etkisini deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında deney numunesi olarak Bakır (Cu) kaplı bi-metalik malzeme Al-Cu kullanılmıştır. Kaplama kalınlığı 0.83 mm Cu (JIS-TCuP) bakır matrisi ve kalınlığı 2,20 mm olan Al matrisine (JIS-A1050) sahip numunelere Ø9, Ø10, Ø11, Ø12, Ø13, Ø14 mm ölçülerinde ön delikler delip, konik zımba ile delik flanşlama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kaplama iç çapta ve dış çapta kalacak şekilde iki farklı çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda flanşlama işlemi esnasında ütülemenin kaplama kalınlığını önemli ölçüde azalttığını, şekillendirmeye önemli ölçüde etki ettiğini ve flanşlama sonrası kaplamanın dış duvarda olduğu durumda kaplama kalınlığının ön delik çapı ile ters orantılı olduğunu belirtmişleridir[4]. W.frachz ve diğerleri zımba formunun flanş yüksekliğine etkisini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında kalınlığı 1 mm olan extra derin çekme kalitesindeki çeliğe Ø10 mm çapında ön delik delmişler, zımba çapları (D_P) 30mm olan üç farklı; 60° konik, küresel ve köşe kavisi (R_P) 4mm olan zımbalarla flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma ile analitik çalışmayı karşılatırmışlar, flanş kalınlığı ve maksimum incelmenin zımba formu ile alakalı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada maksimum incelmeyi köşe kavisli zımba formu ile elde edilirken, en düşük incelme ise konik zımba formu ile elde edilmiştir. Konik ve küresel zımba formları ile yaptıkları flanşlama işleminde geri esnemenin yüksek olduğu ve en büyük flanş yüksekliğinin köşe rkavisli zımba formu ile sağlandığını gözlemlemişlerdir[5]. Xiping Chen ve diğerleri yaptıkları çalışmada ultra yüksek mukavemetli çeliklerde malzeme karakterinin delik flanşlamaya etkisini incelemişlerdir. Kalınlık ölçüleri(0,7-2,6 mm aralıklarında ve akma gerilimi değerleri 189-1074 MPA arasında değişen sıcak ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretilmiş 15 farklı çelik malzemeye delik genişletme işlemi uygulamışlar ve malzeme karakteristik özelliklerinin etkisini gözlemlemişlerdir. Numunelere zımba ile Ø10 mm ölçüsünde ön delik delip Ø50 mm ve 60° konik ölçüsüne sahip zımba ile çapak yönü dışarıda kalacak şekilde flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda malzemenin çekme dayanımı ile delik genişleme oranı arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Çekme dayanımı değeri 590 MPA'nın altında iken, çekme dayanımı değeri arttıkça delik genişleme oranının buna ters orantılı olarak azaldığı, çekme dayanımı 780MPA'nın üzerindeyken, malzemenin çekme dayanımı arttıkça delik genişleme oranının sabit bir değere (yaklaşık% 30 ~ 40) eğilim gösterdiği görülmüştür. Yaptıkları ölçümlerde çelik içerindeki martenzit fazın şekillendirme sırasında önemli etkiye sahip olduğu, DP780, DP980, MS1180 çelikler ile 780 MPA veya daha fazla gerilme mukavemetine sahip çeliklerin yapısında sert faz olarak bilinen martenzit fazının yüksek hacimde bulunduğu gözlemlenmiştir. Martenzit fazın şekillendirme sırasında belirli bir hacim oranına ulaştığında, sert ve yumuşak faz ara yüzündeki mikro hasarda, sınırlayıcı bir hasar enerjisine sahip olabileceğini belirtmişlerdir[6]. D.I. Hyun D.I. Hyun ve diğerleri yüksek mukavemetli çelik plakaların delik flanşlama kabiliyetini incelemişlerdir. Çalışmalarında otomotiv endüstrisinde kullanılan TRIP ve çift fazlı F + B (ferrit-bainit duplex) çeliğinin şekillendirme esnasında yırtılma ve çatlaklar oluşturmasına çözüm olarak delik flanşlama işlemi için optimum kriterleri araştırmışlardır. Küresel bir zımba ile farklı ön delik çaplarına ve 1mm, 2mm, 3mm kalınlık ölçülerine sahip çeliklere flanşlama işlemi uygulamışlardır. Flanşlama öncesinde kalıp ve zımba 60 HRC sertliğinde sertleştirilmiş ve ön delikler su jeti ile kesilmiştir. Çalışmada maksimum şekillendirme kuvvetlerinin, her

iki malzeme için azalan delik çapları ile arttığı ve TRIP çeliğinin şekillendirme kuvvetinin F + B çeliğinden çok daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Delikli flanşlama işlemi sırasında yüksek mukavemetli çelik saclarda çatlaklar ve yırtıkların oluşma nedeninin, esas olarak çevresel gerilme ile bölgesel daraltmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Deliğin kenarında ilk çatlak oluştuğunda, TRIP çeliğinin çatlağının dal şeklinde ilerlediği mikro çatlakların oluşumunda ve yayılmasında baskılayıcı bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir. TRIP çeliğinin daha büyük uzama değerine sahip olmasına rağmen, F + B çeliğinin, minimum delik çapı açısından TRIP çeliğinden daha iyi flanşlanabilirliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Flanş şekli ve flanş yüksekliği açısından TRIP çeliklerinin daha iyi şekillendirilebildiğini gözlemlemişlerdir[7]. Kacem ve diğerleri çalışmalarında, sonlu elemanlar (FE) simülasyonları ile ütülemenin geleneksel delik-flanş işlemi üzerinde etkisini incelenmiştir. Flaşlama sırasında ütülemenin meydana gelip gelmediğini, ütülemenin flanş geometrisi ve zımba yükü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 2 mm kalınlığında Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν) sırasıyla 70 GPa ve 0.3 olan alumınyum alaşım malzeme kullanmışlardır. Numunelere Ø6 mm ön delik delinmiş, Ø8mm ölçüsünde konik bir pilot zımba ile çapı 13,6mm ve 18 mm ölçülerinde değişen kalıp setinde flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Analizler için ABAQUS programını kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda (Rc) kalıp boşluk değeri ne olursa olsun, maksimum incelmenin genellikle flanşlama işlemi sırasında meydana geldiği belirlenmiştir. Maksimum incelme flanşın uç bölgelerinde gözlemlenirken, bu incelmelerin bölgede yırtılmalara neden olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kalıp boşluğu (Rc) azaldıkça flans boyunun yükseldiği ve daha düzgün bir kalınlık dağılımı elde edildiği görülmüştür. Ütüleme işleminin başladığı (Rc) kritik değerini (Rcc) belirlemek için flanş yüksekliği (h) ve flanş ucundaki kalınlık analizine odaklanmışlar ve ütülemenin flanş geometrisini önemli derecede etkilediğini belirlemişlerdir. Ütüleme olmadan flanşlama işlemi yapıldığında maximum incelme değerinin flanş kalınlığının %35 i olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan litaratür araştırmaları sonucunda delik flanslama işlemini etkileyen parametrelerin birçok kez araştırılmış olduğu ancak DP600 malzemede zımba formunun ve zımba çapının delik flanşlama işlemine etkilerinin yeterli olarak araştırılmadığı gözlemlenmiştir[8].

İyi şekillendirilebilirlik ve yüksek mukavemet dayanımına sahip olmasının yanı sıra DP çeliklerin kalıplanmasında çeşitli zorluklarla karşılaşılmaktadır. Karşılaşılan ve en iyi bilinen zorluklardan ikisi, bükme işlemi sırasında yırtılmalar ve flanşlama esnasında oluşan kenar çatlaklarıdır. Yapılan bu çalışmada, DP600 çift fazlı çelik sac malzemelerin flanşlanması analitik olarak incelenmiştir. Numunelere farklı zımba formları ve farklı zımba çapları ile delik flanşlama işlemi uygulanmış, analiz sonuçlarından elde edilen veriler ile zımba formunun flanş yüksekliğine ve flanş kalınlığına etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip DP600 çift fazlı çelik numunelere flanşlama işlemi uygulanmıştır. 60 mm çapında ve 1mm-1,5mm kalınlık ölçülerine sahip 0° hadde yönünde üretilmiş çift fazlı DP600 sac numunelere Ø10 mm ölçüsünde ön delik delinmiş, 12, 14, 16 mm çap ölçülerine sahip olan köşe kavisli, küresel ve konik formlu zımbalarla flanşlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune ölçüleri Şekil 3, malzeme özellikleri Tablo 1 ile gösterilmiştir.

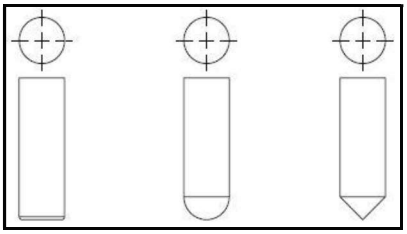


Şekil 3. Farklı kalınlık ölçüsüne sahip numuneler

Tablo I. DP600 malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

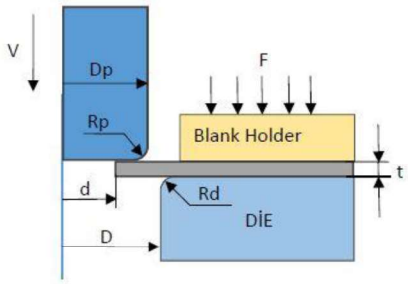
Element (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb+ Ti (%)	Cr+ Mo (%)	B (%)
DP600	**0,17**	**0,80**	**2,30**	**0,080**	**0,020**	**0,0 10**	**0,10**	**1,0**	**0,005**

Yapılan analitik çalışmada delik flanlaşlama işleminde zımba formunun etkisini incelemek için Ø12, Ø14, Ø16 mm ölçülerine sahip; köşe kavisli R_p:1 mm, küresel ve 45° konik zımbalarla kullanılmıştır. Çalışmada zımba çapı ve formunun flanş yüksekliğine ve kalınlığına etkisi DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilmiştir. Şekil 4'de zımba formları gösterilmiştir.



Şekil 4. Zımba formları

Yapılan çalışmada Ø60 mm ölçüsündeki numunelere Ø10 mm ön delik delinmiştir. Sonlu elemenlar analizini gerçekleştirirken DEFORM yazılımı kullanılmıştır. Delik flanşlama işleminin analitik olarak incelenmesinde model eksenel simetrik koşullara dayandırılmış ve deney numunesi, zımba ve kalıbın sağ tarafı modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için DP600 malzemenin young modülü E:203.0 GPa belirlenmiş, Poisson oranı v:0,3 olarak tanımlanmıştır. Analizlerde 3600 element (mesh) ile oluşturulmuş, kalıp köşe kavisi R_d: 1 mm olarak belirlenmiştir. Baskı plakası kuvvet değeri 50000 N, Sıcaklık(T) 20°ve zımba hızı 20 mm/sn kabul edilerek DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımında flanşlama işlemi analitik olarak incelenmiştir. Kalıp, zımba ve deney numunesi parametreleri Tablo 2'de, delik flanşlama işleminin görseli Şekil 5' te gösterilmiştir.

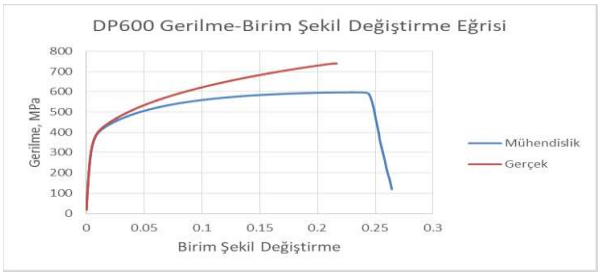


Şekil 5: Flanşlama işleminin gösterimi

Tablo II. Analiz parametreleri

PARAMETRELER	NOT	DEĞER (Initial)
Ön delik çapı	d	10 mm
Kalıp çapı	D	20 mm
Zımba çapı	Dp	12 mm -14 mm – 16mm
Punch-Die Clearance	C=(D-D_i)/2	0,1-0.15 mm
Kalıp köşe kavisi	Rd	1 mm
Zımba kavisi	Rp	1 mm
Zımba formu	--	Köşe kavıslı – Konik - Küresel
Malzeme	DP600	T= 1-1,5 mm

Malzeme verilerinin Deform yazılımına aktarılması amacıyla, DP600 malzemenin çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda elde edilen mühendislik eğrilerine bağlı olarak gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. DP600 gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada zımba formu, zımba çapı ve malzeme kalınlığının flanş kalınlığı ve flanş yüksekliğine etkisi DEFORM-2D sonlu elemanlar yazılımında incelenmiştir. Sac malzeme kalınlığı 1 mm olarak sabit tutulduğunda zımba çapının et kalınlığı değişimine oranı Şekil 7'de gösterilmiştir. Zımba çapının 12 mm den 16 mm'ye artırılması ile et kalınlığının yaklaşık olarak % 12 oranında azaldığı görülmüştür. Zımba çapındaki artışa bağlı olarak flanş yüksekliği de artmıştır (Şekil 8). Sac malzeme üzerinde flanşlama öncesi açılması gereken ön delik sabit tutulmuştur. Bu durumda artan zımba çaplarına bağlı olarak flanş yüksekliğinin artması da beklenen bir durumdur.

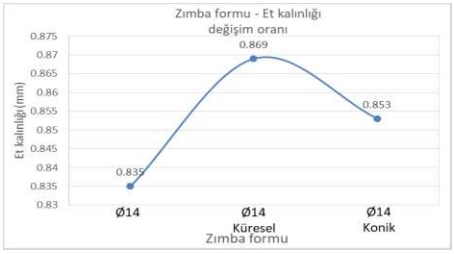


Şekil 7. Zımba Çapı – Et kalınlığı oranı

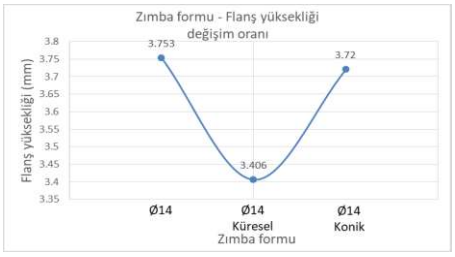


Şekil 8. Zımba Çapı- Flans yüksekliği oranı

Küresel, konik ve düz (köşe kavisli) zımba formları ile yapılan çalışmalarda, en yüksek incelme değerlerinin düz zımba formunda oluştuğu görülmüştür (Şekil 9). Et kalınlığı üzerinde en az değişim ise küresel formlu zımba ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, delik flanşlama işleminde küresel formlu zımbaların kullanımının daha uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, en büyük flanş yüksekliği değeri düz zımba formu ile elde edilmiştir. Bu durum düz zımba formunda temas yüzeyinin daha az olması ve malzeme akma oranının daha fazla gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 9. Zımba formu - Et kalınlığı oranı



Şekil 10. Zımba formu – Flans yüksekliği oranı

4. SONUÇLAR

Yapılan analitik çalışmada ön delik delinmiş çift fazlı çelik saclara farklı çaplarda ve formlarda zımbaların delik flanşlama işlemine etkisi analiz edilmiştir. Sacmalzeme kalınlıkları 1 mm ve 1,5 mm olarak alınmıştır. Analiz çalışmaları sonucunda, değişen zımba formları ve çaplarına bağlı olarak flanş kalınlık değişimleri ve flanş yükseklikleri ölçülmüştür. Flanş yüksekliği ve kalınlığının, zımba formu ve zımba çapı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Analitik çalışma sonucunda zımba çapı artarken et kalınlığının azaldığı ve zımba çapı ile et kalınlığı arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca en düzgün flanş formu 16 mm zımba ile elde edilmiştir.
2. Flanşma işleminde et kalınlığının yalnızca zımba çapından etkilenmediği, zımba formununda et kalınlığına önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Köşe kavisli (R_p=1 mm), küresel ve konik olmak üzere 3 farklı forma sahip zımbalarla analizler gerçekleştirilmiş ve et kalınlıkları incelenmiştir. Analiz sonucunda maksimum incelmenin en fazla köşe kavisli zımba formuyla elde edildiği, en düşük incelmenin ise küresel zımba formuyla gerçekleştirilen flanşlama işleminde gerçekleştiği görülmüştür.
3. Flanşlama işleminde et kalınlığının yanı sıra flanş yüksekliğinin de önemi büyüktür. Yapılan analitik çalışmada flanş yüksekliğini incelemek için üç farklı zımba formu ve 3 farklı zımba çapı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Flanşlama işleminde zımba çapı arttıkça flanşlama yüksekliğinin arttığı, dolayısıyla zımba çapı ile flanş yüksekliği arasında doğrusal ilişki olduğu görülmüştür.
4. Flanş yüksekliğinin zımba formundan da etkilendiği görülmüştür. Zımba formunun etkisi incelendiğinde en yüksek flanş yüksekliği köşe kavisli zımba formu ile elde edilirken, en düşük flanş yüksekliği küresel formlu zımba ile elde edilmiştir.
5. Analiz sonucunda flanş yüksekliği ve maksimum incelmenin sac malzeme kalınlığıyla da ilişkili olduğu belirlenmiştir. Flanşlama işleminde malzeme kalınlığı arttıkça maksimum incelmenin ve flanş yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

REFERENCES

[1] Sartkulvanich, P., Kroenauer, B., Golle, R., Konieczny, A., & Altan, T. (2010). Finite element analysis of the effect of blanked edge quality upon stretch flanging of AHSS. *CIRP annals*, *59*(1), 279-282.

[2] Huang, Y. M., & Chien, K. H. (2001). Influence of the punch profile on the limitation of formability in the hole-flanging process. *Journal of Materials Processing Technology*, *113*(1-3), 720-724.

[3] Mori, K. I., Abe, Y., & Suzui, Y. (2010). Improvement of stretch flangeability of ultra high strength steel sheet by smoothing of sheared edge. *Journal of Materials Processing Technology*, *210*(4), 653-659.

[4] Kumagai, T., Saiki, H., & Meng, Y. (1999). Hole flanging with ironing of two-ply thick sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, *89*, 51-57.

[5] Frącz, W., Stachowicz, F., & Trzepieciński, T. (2012). Investigations of thickness distribution in hole expanding of thin steel sheets. *archives of civil and mechanical engineering*, *12*, 279-283.

[6] Chen, X., Jiang, H., Cui, Z., Lian, C., & Lu, C. (2014). Hole expansion characteristics of ultra high strength steels. *Procedia Engineering*, *81*, 718-723.

[7] Hyun, D. I., Oak, S. M., Kang, S. S., & Moon, Y. H. (2002). Estimation of hole flangeability for high strength steel plates. *Journal of Materials Processing Technology*, *130*, 9-13.

[8] Kacem, A., Jmal, M., Krichen, A., & Manach, P. Thinning And Ironing In Hole-Flanging Process.